



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 11 779 A 1**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 05 D 1/08**  
B 60 T 8/00  
G 05 D 13/00  
G 01 L 5/22  
G 01 P 9/00  
B 60 T 8/60

21 Aktenzeichen: 100 11 779.1  
22 Anmeldetag: 10. 3. 2000  
43 Offenlegungstag: 21. 6. 2001

DE 100 11 779 A 1

66 Innere Priorität:  
199 43 500. 6 10. 09. 1999

71 Anmelder:  
Continental Teves AG & Co. oHG, 60488 Frankfurt,  
DE

72 Erfinder:  
Roll, Georg, Dr., 63150 Heusenstamm, DE; Lüders,  
Ulrich, 31303 Burgdorf, DE; Oehler, Rainer, 64295  
Darmstadt, DE; Raste, Rainer, 61440 Oberursel, DE;  
Frentz, Hubertus Raitz von, 65936 Frankfurt, DE;  
Izsak, Karl, Dr., 68239 Mannheim, DE

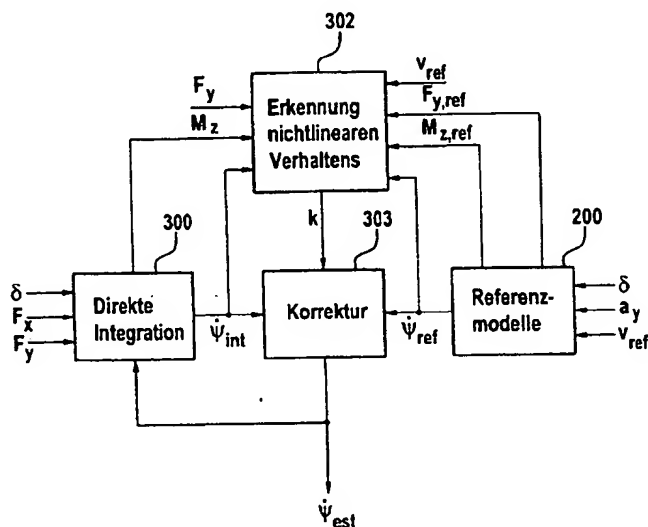
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 198 49 508 A1  
DE 197 44 725 A1  
DE 196 24 795 A1  
DE 195 47 176 A1  
DE 195 15 058 A1  
DE 41 27 954 A1  
DE 39 12 045 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Regelung eines Giermoments

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs, das aus dem Vergleich einer Istgierwinkelgeschwindigkeit mit einer Sollgierwinkelgeschwindigkeit und ggf. weiteren Größen gebildet wird. Um eine Regelung der Fahrstabilität des Fahrzeugs ohne Gierratensensor zu ermöglichen, wird die Istgierwinkelgeschwindigkeit unter Einbeziehung der am Reifen angreifenden Istkräfte und dem Lenkwinkel über eine Integration der Gierwinkelbeschleunigung geschätzt (Fig. 3).



100 11 779 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bekannte Giermomentenregelungen stabilisieren das Fahrverhalten des Fahrzeugs bei Kurvenfahrten durch Vergleich einer Sollgierwinkelgeschwindigkeit mit einer Istgierwinkelgeschwindigkeit, die von einem Gierratensensor gemessen wird, welcher geringste Änderungen der Istgierwinkelgeschwindigkeit erfasst. Bei Abweichung der Istgierwinkelgeschwindigkeit von der Sollgierwinkelgeschwindigkeit, die mindestens in Abhängigkeit von den Größen Lenkradwinkel, Fahrzeugreferenzgeschwindigkeit und Reibwert berechnet wird, wird diese Differenz in Steuersignale für bestimmte Stellelemente umgerechnet, durch deren Betätigung dann sich die Istgierwinkelgeschwindigkeit an die Sollgierwinkelgeschwindigkeit annähert.

Ferner sind Druckschriften bekannt, die sich mit dem Erfassen und Auswerten der am Fahrzeugreifen angreifenden Kräfte und Momente befassen (WO 96/10505, WO 97/44673). Ein Reifensensor, insbesondere dessen Ausbildung, ist in der DE 196 20 582 A1 beschrieben.

Darüber hinaus ist es aus der DE 196 24 795 A1 bekannt, daß anhand von Reifensensoren Kräfte und Momente in Längs-, Quer- und Vertikalrichtung errechnet werden können. Eine Giermomentenregelung auf der Basis der am Reifen angreifenden Kräfte soll so aussehen, daß ein Sollgiermoment errechnet wird. Dieses Sollgiermoment wird in Sollkräfte umgerechnet, welche an den jeweiligen Fahrzeugreifen angreifen, wenn das Sollgiermoment mit dem Istgiermoment übereinstimmt. Danach werden dann die Istkräfte, welche an den Fahrzeugreifen angreifen, auf die Sollkräfte hin geregelt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs anzugeben, bei dem eine Istgierwinkelgeschwindigkeit ohne Gierratensensor ermittelt werden kann.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Abhängige Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Die Erfindung sieht also vor, daß innerhalb einer Fahrdynamikregelung (ESP) eine Gierwinkelgeschwindigkeit (Gierrate) unter Einbeziehung von Reifenkraftsignalen und des Lenkwinkels über eine Integration einer Gierwinkelbeschleunigung geschätzt wird. Die Gierrate wird vorzugsweise durch Integration der Gierwinkelbeschleunigung nach der Beziehung

F1.1

$$\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$$

bestimmt.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die Gierwinkelbeschleunigung aus der Momentenbilanz um die Fahrzeughochachse nach der Beziehung F1.2-1.3 gebildet.

F1.2

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} * M_z$$

F1.3

$$\begin{aligned} M_z = & (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) * l_v * \cos \delta + (F_{x_{vr}} * b_{vr} - F_{x_{vl}} * b_{vl}) * \cos \delta + \\ & + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) * l_v * \sin \delta + (F_{y_{vl}} * b_{vl} - F_{y_{vr}} * b_{vr}) * \sin \delta - \\ & - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) * l_h - F_{x_{hl}} * b_{hl} + F_{x_{hr}} * b_{hr} \end{aligned}$$

In die Momentenbilanz gehen neben den Reifenkraftsignalen als Signal der Lenkwinkel ein. Die Schätzung der Gierrate wird also über die direkte Integration der Momentenbilanz unter Einbeziehung eines Korrekturwertes oder einer Korrekturgröße durchgeführt.

Die diskretisierte Form der Integration nach der Beziehung F1.1 kann z. B. durch einen Euler-Ansatz

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) \cdot \Delta t \quad \text{F1.4}$$

realisiert werden.

Die Bestimmung einer Schätzgröße der Gierwinkelgeschwindigkeit führt zu dem wirtschaftlichen Vorteil der Einsparung eines Gierratensensors in ESP-Systemen. Ebenso kann die Bestimmung einer Schätzgröße der Gierwinkelgeschwindigkeit zur funktionalen Verbesserung eines ESP-Systems, welches einen Gierratensensor aufweist, genutzt werden.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß eine Schätzgröße der Gierwinkelgeschwindigkeit als Istgröße bei einer Fahrdynamikregelung verwendet werden kann, wenn die mittels direkte Integration der Gierwinkelbeschleunigung geschätzte Gierrate durch Korrekturgrößen oder Korrekturwerte gestützt wird, um die bei dem vorgesehenen Verfahren der direkten Integration unvermeidbar auftretenden Drifteffekte durch Akkumulation von Fehlern zu reduzieren. Es erfolgt entspre-

chend der Erkennung des nichtlinearen Fahrverhalten des Fahrzeuges eine Korrektur der integrierten Gierrate über Referenzwerte oder Referenzgrößen. Ein Verfahren zur Erkennung des nichtlinearen Fahrverhaltens sowie der Bestimmung des Referenzwertes oder der Referenzgröße verwendet unterschiedliche Referenzgierraten die einzeln oder in Kombination miteinander zur Erkennung des nichtlinearen Fahrverhaltens und/oder zur Korrektur der durch direkte Integration ermittelten Gierrate dienen.

Bei dem Verfahren zur Schätzung eines Fahrzeuggierratensignals zur Stabilitätsregelung unter Einbeziehung von Radkraftsignalen, wird die Schätzung der Gierrate daher über eine direkte Integration der Momentenbilanz durchgeführt und zur Vermeidung von Drifteffekten die geschätzte Gierrate (integrierte Gierrate) permanent mit Hilfe von berechneten Referenzgierraten -korrigiert. Eine Referenzgierrate wird nach dem stationären Einspurmodell aus dem Lenkradwinkel, der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit (Referenzgeschwindigkeit), dem Eigenlenkgradient und dem Radstand gemäß der Beziehung

F2.1

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right) \quad 15$$

berechnet.

Eine weitere Referenzgierrate wird aus der Querbeschleunigung und der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit (Referenzgeschwindigkeit) nach der Beziehung

F2.2

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad 25$$

berechnet.

Eine dritte Referenzgierrate wird aus Gierbeschleunigung nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref} \text{ aus } \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu) \quad \text{F2.3} \quad 30$$

berechnet.

Zusätzlich zum Referenzgierratensignal können Referenz-Seitenkräfte der Vorder- und Hinterachse sowie ein Referenzmoment mit dem Einspurmodell bestimmt werden.

Die Korrekturen der integrierten Gierrate auf eine Referenzgierrate, insbesondere bei Fahrzeugen, die sich im linearen Bereich befinden, nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad 40$$

oder

$$\dot{\psi}_{ref} \text{ aus } \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu) \text{ oder} \quad 45$$

$$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right) \quad 50$$

erfolgt immer dann, wenn die Referenzgierraten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref_1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right) \quad \text{und} \quad \dot{\psi}_{ref_2} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad 55$$

in einem Band liegen, das durch  $|\dot{\psi}_{ref_1} - \dot{\psi}_{ref_2}| < k_1$  bestimmt wird.

Der Schwellenwert  $k_1$  ist kleiner 5 Grad pro Sekunde, vorzugsweise liegt der Wert  $k_1$  in einem Bereich zwischen 2 und 3,5 Grad pro Sekunde.

Nach einer weiteren oder zusätzlichen zweiten Ausführungsform erfolgt die Korrektur der integrierten Gierrate auf eine Referenzgierrate nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}} \quad 65$$

oder

$\dot{\Psi}_{ref}$  aus  $\ddot{\Psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\Psi}_{ref}, \mu)$  oder

$$\dot{\Psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right),$$

insbesondere bei Fahrzeugen, die sich im linearen Bereich befinden, immer dann, wenn die Differenz zwischen dem am Fahrzeug gemessenen Moment  $M_z$  und dem anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Moment nach der Beziehung  $M_{z,ref} = \Theta \cdot \ddot{\Psi}_{ref}$  innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|M_z - M_{z,ref}| < k_2$  bestimmt wird. Der Schwellenwert  $k_2$  ist kleiner 1000 Nm, vorzugsweise liegt  $k_2$  im Bereich zwischen 200 und 500 Nm. Zusätzlich zu oder anstatt der Bedingung, daß der Schwellenwert  $k_2$  unterschritten werden muß, kann auch die Bedingung vorgesehen sein, daß die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\Psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und

$$\dot{\Psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

innerhalb eines Bandes liegen müssen, das durch  $|\dot{\Psi}_{ref1} - \dot{\Psi}_{ref2}| < k_1$  bestimmt wird, mit  $k_1$  kleiner 5 Grad pro Sekunde. Nach einer weiteren oder zusätzlichen dritten Ausführungsform erfolgt die Korrektur der integrierten Gierrate auf eine Referenzgierrate nach der Beziehung

$$\dot{\Psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

oder

$\dot{\Psi}_{ref}$  aus  $\ddot{\Psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\Psi}_{ref}, \mu)$  oder

35

$$\dot{\Psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right),$$

40

insbesondere bei Fahrzeugen, die sich im linearen Bereich befinden, immer dann, wenn die Differenz der zwischen den am Fahrzeug gemessenen Seitenkräften  $F_y$  und den anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Seitenkräften  $F_{y,ref}$  nach der Beziehung

45  $F_{y,ref} = C \cdot \alpha_{ref}$  mit

$$\alpha_{ref,v} = \beta_{ref} - \frac{l_v \cdot \dot{\Psi}_{ref}}{v_{ref}} + \delta \quad \text{und} \quad \alpha_{ref,h} = \beta_{ref} + \frac{l_h \cdot \dot{\Psi}_{ref}}{v_{ref}}$$

50

innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$  bestimmt wird. Der Schwellenwert  $k_3$  ist kleiner 500 N, vorzugsweise liegt der Schwellenwert in einem Bereich zwischen 100 und 300 N. Zusätzlich zu oder anstatt der Bedingung, daß  $k_3$  unterschritten werden muß, kann auch die Bedingung vorgesehen sein, daß die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

55

$$\dot{\Psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

60 und

$$\dot{\Psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

65 innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|\dot{\Psi}_{ref1} - \dot{\Psi}_{ref2}| < k_1$  bestimmt wird, mit  $k_1$  kleiner 5 Grad pro Sekunde.

Um eine unbeabsichtigte Korrektur, d. h. ein unbeabsichtigtes Zurücksetzen auf eine der Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten bei einem Nulldurchgang der Differenzsignale

$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}|$  und/oder  
 $|M_Z - M_{Z,ref}|$  und/oder  
 $|F_y - F_{y,ref}|$

zu vermeiden, muß die Bedingung

$$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1 \text{ oder } |M_Z - M_{Z,ref}| < k_2 \text{ oder } |F_y - F_{y,ref}| < k_3$$

mindestens für eine Dauer  $T_S$  erfüllt sein, bevor auf eine der Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten zurückgesetzt werden kann.

Der Schwellenwert  $T_S$  sollte nicht kleiner als 100 ms gewählt werden, vorzugsweise ist  $T_S = 150$  ms.

Eine weitere Korrektur der integrierten Gierrate auch während hochdynamischer Fahrzustände erfolgt derart, daß die integrierte Gierrate schrittweise in Richtung der Referenzgierrate nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

korrigiert wird, solange sie außerhalb eines Bandes liegt, das durch die beiden Referenzgierraten nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right) \quad \text{und} \quad \dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

bestimmt wird.

Die Korrektur der integrierten Gierrate erfolgt auch während hochdynamischer Fahrzustände immer dann, wenn die integrierte Gierrate Werte angenommen hat, die außerhalb des physikalisch möglichen Bereichs liegen.

Die in der Anmeldung verwendeten Größen haben folgende Bedeutung:

$\dot{\psi}_{est}$ Schätzgröße der Gierrate	
$\dot{\psi}_{int}$ Gierrate aus direkter Integration	30
$\dot{\psi}_{ref}$ Referenzgierrate	
$\ddot{\psi}$ Gierbeschleunigung	
$F_{x_v/l/r}$ Längskräfte vorne links/rechts	
$F_{x_h/l/r}$ Längskräfte hinten links/rechts	
$F_{y_v/l/r}$ Seitenkräfte vorne links/rechts	35
$F_{y_h/l/r}$ Seitenkräfte hinten links/rechts	
$M_Z$ Momentenbilanz um die Fahrzeughochachse	
$l$ Radstand	
$l_v$ Abstand zwischen Schwerpunkt und Vorderachse	
$l_h$ Abstand zwischen Schwerpunkt und Hinterachse	40
$b_{v/l/r}$ Abstand zwischen Radaufstandspunkt und der Schwerpunktlängsachse vorne links/rechts	
$b_{h/l/r}$ Abstand zwischen Radaufstandspunkt und der Schwerpunktlängsachse hinten links/rechts	
$m$ Fahrzeugmasse	
$\Theta$ Trägheitsmoment um die Fahrzeughochachse	
$v_{ref}$ Fahrzeuglängsgeschwindigkeit	45
$\delta$ Lenkwinkel am Rad	
$EG$ Eigenlenkgradient	
$C_v$ Schräglaufsteifigkeit Reifen vorne	
$C_h$ Schräglaufsteifigkeit Reifen hinten	
$a_y$ Fahrzeugquerbeschleunigung	50
$k_1$ Schwellenwert für die Referenz-Gierwinkelgeschwindigkeit	
$k_2$ Schwellenwert für die Momentenbilanz	
$k_3$ Schwellenwert für die Kräftebilanz	
$k$ Korrekturfaktor	
$\alpha_v$ Schräglaufwinkel der Vorderachse	55
$\alpha_h$ Schräglaufwinkel der Hinterachse	
$T_S$ Schwellenwert für die Gierratenkorrektur	

Ein Ausführungsbeispiel ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen

**Fig. 1** eine schematische Darstellung der Reifenkräfte in radfesten Koordinatensystemen

**Fig. 2** eine Gesamtstruktur einer Giernormenregelung

**Fig. 3** eine schematische Darstellung der Regelstruktur

In **Fig. 1** sind die Reifenkräfte in den radfesten Koordinatensystemen eines Fahrzeugs beispielhaft dargestellt. Die durch den Reifen-Fahrbahn-Kontakt an den Reifen auftretenden Kräfte der einzelnen Räder können Radlängskräfte, Querkräfte und/oder Radaufstandskräfte sein. In **Fig. 1** sind beispielhaft Radumfangskräfte  $F$ , (Längskräfte) und  $F_y$  (Querkräfte) in den radfesten Koordinatensystemen eines Fahrzeugs dargestellt. Die Kräfte werden mit Indices bezeichnet. Es gilt

h = Hinterachse des Fahrzeugs  
v = Vorderachse des Fahrzeugs  
r = rechts  
l = links  
ref = Referenzgröße  
l = Abstand der Achse vom Schwerpunkt  
b = halbe Spurweite des Rades.

**Fig. 2** zeigt schematisch eine Gesamtstruktur einer Gierrmomentenregelung, wobei das Fahrzeug mit seinen Radbremsen die Regelstrecke **204** bildet.

Auf das Fahrzeug wirken die vom Fahrer gegebenen Größen Fahrerbremsdruck (nicht dargestellt) und Lenkwinkel  $\delta$ . Am Fahrzeug werden die hieraus resultierenden Größen Motor-Istmoment, Querbeschleunigung, Raddrehzahlen, Hydrauliksignale (wie Radbremsdrücke) und die Radumfangskräfte  $F_x$  und Querkraften  $F_y$  ermittelt. Hierzu stehen als Sensorik ein Lenkwinkelsensor, ein Querbeschleunigungssensor sowie Radgeschwindigkeitssensoren und Radkraftsensoren, wie Reifensensoren, zur Verfügung. Die Ermittlung der Längs- und Querkraften erfolgt bevorzugt mittels Reifensensoren, welche Signale aus der Verformung der Reifen, insbesondere der Reifenseitenwand, generieren, aus denen sich die Längs( $F_x$ )- und Querkraften ( $F_y$ ) bestimmen lassen. Die ermittelten Längs- und Querkraften werden einem Gierrmomenten(GMR)-Regelgesetz **201** und einer Reibwert- und Zustandsschätzung **203** zugeführt.

Im GMR-Regler sind Fahrzeug-Referenzmodelle **200** abgelegt, welche anhand des Lenkwinkels  $\delta$ , der Fahrzeug-Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$ , der Querbeschleunigung  $a_y$  sowie dem in der Reibwert- und Zustandsschätzung geschätzten Reibwert  $\mu$  ein Referenz-Gierrmoment  $M_{z,ref}$  oder Referenz-Querkraften  $F_{y,ref}$  oder, wie in den folgenden Ausführungen beschrieben, Referenzgierrwinkelgeschwindigkeiten berechnet.

Weiterhin werden Referenzgierraten aus dem stationären Einspurmodell und der Fahrzeugquerbeschleunigung ermittelt. Die Reibwert- und Zustandsschätzung **203** verwendet für ihre Rechnungen die Fahrzeug-Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$ , die gemessene Fahrzeugquerbeschleunigung  $a_y$ , die aus den Reifensensoren bzw. Radkraftsensoren berechneten Radkräfte  $F_y$  und  $F_x$ , sowie den Lenkwinkel  $\delta$ . Neben der Schätzung des Reibwertes wird in der Reibwert- und Zustandsschätzung **203** u. a. eine Zustandsschätzung vorgenommen, die Informationen über den aktuellen Fahrzustand, der z. B. durch die Gierrate gekennzeichnet ist, bestimmt. Über die Eingangsgrößen kann hierzu eine Schätzung der Gierrwinkelgeschwindigkeit vorgenommen werden, die an das GMR-Regelgesetz **201** weitergegeben wird. In dem Regelgesetz **201** werden die im Fahrzeug-Referenzmodell **200** berechneten Referenzgierrwinkelgeschwindigkeiten mit den aus den ermittelten Radkräften  $F_y$ ,  $F_x$ , dem Lenkwinkel  $\delta$  und den Achsabständen zum Massenschwerpunkt des Fahrzeugs geschätzten Gierrwinkelgeschwindigkeiten über den aktuellen Fahrzustand verglichen und das zu regelnde Gierrmoment  $\Delta M$  bzw. die zu regelnde Gierrate  $\Delta \dot{\psi}$  oder die Längskräfte  $F_x$  aus der Differenz der Gierrwinkelgeschwindigkeiten bestimmt. Anhand dieser Gierrwinkelgeschwindigkeitsdifferenz und/oder dem daraus abgeleiteten Gierrmoment und/oder den daraus abgeleiteten Längskräften wird eine Stellgröße so berechnet, daß das fehlende Gierrmoment, die fehlende Gierrrate bzw. die fehlende Längskraft ergänzt wird und das Fahrzeug **204** in einem beherrschbaren Zustand hält. Die Stellgröße erzeugt ein Zusatz-Gierrmoment  $\Delta M$  um die Fahrzeughochachse durch aktive Bremsengriffe, also Bremsengriffe ohne Bremsbetätigung des Fahrers, durch Kraft- oder Bremsdruckvorgaben und/oder Motoreingriffe. Das Zusatzgierrmoment kann hierzu in Kraftanforderungen für die einzelnen Räder umgerechnet werden.

Die Kraftanforderungen der einzelnen Räder werden dem unterlagerten Stellregelkreis **202** als Sollwerte zugeführt. Der Stellregelkreis **202** erzeugt die Stellsignale in Form von z. B. Ventilschaltzeiten, Bremsdrücken, Spannkraften, Stromgrößen oder Motor-Antriebsmomenten.

Das in dem Regelgesetz **201** ermittelte Zusatzgierrmoment basiert auf einem Vergleich der berechneten Sollgierrate mit einer geschätzten Istgierrate, die unter Zugrundelegung von **Fig. 3** wie folgt bestimmt wird:

Das Verfahren zur Schätzung des Fahrzeuggierratensignals zur Regelung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs erfolgt über die direkte Integration der Gierrbeschleunigung. Die Gierrrate wird durch Integration der Gierrbeschleunigung nach der Beziehung

**F1.1**

$$\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$$

bestimmt. Die Gierrbeschleunigung wird aus der Momentenbilanz um die Fahrzeughochachse gebildet, nach der Beziehung **F1.2-1.3**

**F1.2**

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} * M_z$$

$$M_z = (F_{y,vl} + F_{y,vr}) \cdot l_v \cdot \cos\delta + (F_{x,vr} \cdot b_{vr} - F_{x,vl} \cdot b_{vl}) \cdot \cos\delta + (F_{x,vl} + F_{x,vr}) \cdot l_v \cdot \sin\delta + (F_{y,vl} \cdot b_{vl} - F_{y,vr} \cdot b_{vr}) \cdot \sin\delta - (F_{y,hl} + F_{y,hr}) \cdot l_h - F_{x,hl} \cdot b_{hl} + F_{x,hr} \cdot b_{hr} \quad \text{F1.3}$$

Neben den Reifenkraftsignalen wird als Signal der Lenkwinkel am Rad benötigt. Die diskretisierte Form der Integration nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$$

kann z. B. durch einen Euler-Ansatz

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) \cdot \Delta t \quad \text{F1.4}$$

realisiert sein.

Bei diesem Verfahren zur Schätzung des Gierratensignals treten unvermeidbar Driteffekte durch Akkumulation von Fehlern auf. Um diese Effekte zu begrenzen, wird die direkte Integration **300** durch folgende Referenzmodelle **200** gestützt:

#### Referenzmodelle

Als Referenzgierraten werden die nachfolgend aufgeführten Signale verwendet, die im fahrdynamisch linearen Bereich weitgehend der tatsächlichen Gierrate entsprechen. Diese Signale dienen einzeln oder in Kombination miteinander zur Korrektur des durch direkte Integration ermittelten Gierratensignals nach der vorhergehenden Beschreibung.

#### Gierrate aus stationärem Einspurmodell

Das erste Referenzgierratensignal wird gemäß der folgenden Beziehung nach Gleichung

F2.1

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

gebildet.

#### Gierrate aus Fahrzeugquerbeschleunigung

Das zweite Referenzgierratensignal wird gemäß der folgenden Beziehung nach Gleichung F2.2

F2.2

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

gebildet.

#### Gierrate aus dynamischem Einspurmodell

Ein weiteres Referenzgierratensignal kann aus dem dynamischen Einspurmodell ermittelt werden, d. h. es wird gemäß der folgenden Beziehung nach Gleichung F2.3

$$\dot{\psi}_{ref} \text{ aus } \ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu) \quad \text{F2.3}$$

bestimmt.

Zusätzlich zum Referenzgierratensignal können Referenz-Seitenkräfte der Vorder- und Hinterachse sowie ein Referenzmoment mit dem Einspurmodell bestimmt werden.

Es erfolgt entsprechend der Erkennung des nichtlinearen Verhaltens **302** des Fahrzeuges eine Korrektur **303** der integrierten Gierrate. Die Verfahren zur Erkennung des nichtlinearen Verhaltens sowie der Bestimmung des Korrekturfaktors werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

Der Ablauf zur Bestimmung eines Schätzsignals der Gierrate innerhalb eines Auswerte- oder Rechenzyklusses erfolgt in drei Schritten:

1. Bestimmung der Referenzgierraten und eines Korrekturfaktors k
2. Korrektur der direkt integrierten Gierrate
3. Integrationsschritt

In Schritt 1 werden die Referenzgierraten (nach den Gleichungen F2.2 bis F2.3) bestimmt. Der Korrekturfaktor k, der

den fahrdynamisch linearen Bereich  $k = 1$  oder den nichtlinearen Bereich  $k = 0$  bestimmt, wird wie folgt ermittelt:

#### Ausführungsbeispiel mit zwei Referenzgierraten

5 Wenn die beiden Referenzgierraten nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

10

und

$$\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

15

innerhalb des Bandes liegen, das durch  $|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$  für  $T_S \geq 150$  ms bestimmt wird, dann ist der Korrekturfaktor  $k = 1$ . Das betrachtete Fahrzeug befindet sich bei dem Korrekturfaktor  $k = 1$  im fahrdynamisch linearen Bereich. Die integrierte Gierrate wird durch eine berechnete Referenzgierrate nach der Beziehung

20

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

oder

25

$\dot{\psi}_{ref}$  aus  $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$  oder

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

30

ersetzt bzw. z. B. mittels Korrekturschritten, auf eine der Referenzgierraten gesetzt. Ist  $k = 0$ , befindet sich das Fahrzeug im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich.

#### Ausführungsbeispiel mit einer Momentendifferenz

35

Wenn der Betrag der Differenz des nach der Beziehung F1.3

40

$$M_z = (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) \cdot l_v \cdot \cos\delta + (F_{x_{vr}} \cdot b_{vr} - F_{x_{vl}} \cdot b_{vl}) \cdot \cos\delta + \\ + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) \cdot l_v \cdot \sin\delta + (F_{y_{vl}} \cdot b_{vl} - F_{y_{vr}} \cdot b_{vr}) \cdot \sin\delta - \\ - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) \cdot l_h - F_{x_{hl}} \cdot b_{hl} + F_{x_{hr}} \cdot b_{hr}$$

bestimmten Momentes und einem aus dem dynamischen Einspurmodell nach der Beziehung  $M_{z,ref} = \Theta \cdot \ddot{\psi}_{ref}$  bestimmten Referenzmomentes kleiner als der nach der Beziehung  $|M_z - M_{z,ref}| < k_2$  für  $T_S \geq 150$  ms bestimmte Schwellenwert  $k_2$  und/oder der Schwellenwert  $k_1$  ist, dann ist der Korrekturfaktor  $k = 1$ . Das betrachtete Fahrzeug befindet sich bei dem

45

Korrekturfaktor  $k = 1$  im fahrdynamisch linearen Bereich. Die integrierte Gierrate wird durch eine berechnete Referenzgierrate nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

50

oder

$\dot{\psi}_{ref}$  aus  $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$  oder

55

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

60

ersetzt bzw. z. B. mittels Korrekturschritten, auf eine der Referenzgierraten gesetzt. Ist  $k = 0$ , befindet sich das Fahrzeug im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich.

#### Ausführungsbeispiel mit einer Kraftdifferenz

65

Wenn der Betrag der Differenz der vorzugsweise mit Reifensensoren (Reifenseitenwandtorsions-Sensoren) gemessenen Seitenkraft (Summe der Seitenkräfte einer Achse) und einer Referenzseitenkraft nach der Beziehung  $F_{y,ref} = C \cdot \alpha_{ref}$  mit



$$\alpha_{ref,v} = \beta_{ref} - \frac{l_v \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}} + \delta \quad \text{und} \quad \alpha_{ref,h} = \beta_{ref} + \frac{l_h \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}}$$

5

aus dem dynamischen Einspurmodell an der Vorderachse kleiner als der nach der Beziehung  $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$  für  $T_s \geq 150$  ms bestimmte Schwellenwert  $k_3$  und/oder  $k_1$  ist, dann ist der Korrekturwert  $k = 1$ . Das betrachtete Fahrzeug befindet sich bei dem Korrekturfaktor  $k = 1$  im fahrdynamisch linearen Bereich.

Die integrierte Gierrate wird durch eine berechnete Referenzgierrate nach der Beziehung

10

$$\dot{\psi}_{ref,2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

oder

15

$\dot{\psi}_{ref}$  aus  $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$  oder

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

20

ersetzt bzw. z. B. mittels Korrekturschritten, auf eine der Referenzgierraten gesetzt. Ist  $k = 0$ , befindet sich das Fahrzeug im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich.

Um eine unbeabsichtigte Korrektur, d. h. ein unbeabsichtigtes Zurücksetzen auf eine der Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten bei einem Nulldurchgang der Differenzsignale

25

$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}|$  und/oder  
 $|M_Z - M_{Z,ref}|$  und/oder  
 $|F_y - F_{y,ref}|$

30

zu vermeiden, muß die Bedingung

$|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$  oder  $|M_Z - M_{Z,ref}| < k_2$  oder  $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$  mindestens für eine Dauer  $T_s$  erfüllt sein, bevor auf eine der Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten zurückgesetzt werden kann.

Schritt 2 erfolgt mit Hilfe der direkt integrierten Gierrate und einer Referenzgierrate (nach Gleichung F2.2 oder F2.3) unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors, d. h.

35

$$\dot{\psi}_{est}(t_n) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + k \cdot (\dot{\psi}_{ref}(t_n) - \dot{\psi}_{int}(t_n)) \quad \text{F2.4}$$

Im Schritt 3 wird für die Integration nach der Beziehung gemäß Gleichung F1.4

40

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{int}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) \cdot \Delta t$$

das nach Gleichung F2.4 bestimmte Schätzsignal der Gierrate verwendet, d. h.

$$\dot{\psi}_{int}(t_{n+1}) = \dot{\psi}_{est}(t_n) + \ddot{\psi}(t_n) \cdot \Delta t \quad \text{F2.5}$$

45

### Erkennung des nichtlinearen Verhaltens

Solange sich das betrachtete Fahrzeug im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, kann die integrierte Gierrate permanent auf eine der Referenzgierraten gesetzt bzw. durch die gebildeten Signale ersetzt werden. Im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich entsprechen die Referenzgierraten nicht mehr der tatsächlichen Gierrate, so daß dann die freie bzw. direkte Integration der Gierbeschleunigung nach

50

F1.1

55

$$\dot{\psi}_{int} = \dot{\psi}_0 + \int_0^t \ddot{\psi} d\tau$$

F1.2

60

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} * M_z$$

$$M_z = (F_{y,vl} + F_{y,vr}) \cdot l_v \cdot \cos\delta + (F_{x,vr} \cdot b_{vr} - F_{x,vl} \cdot b_{vl}) \cdot \cos\delta + \\ + (F_{x,vl} + F_{x,vr}) \cdot l_v \cdot \sin\delta + (F_{y,vl} \cdot b_{vl} - F_{y,vr} \cdot b_{vr}) \cdot \sin\delta - \\ - (F_{y,hl} + F_{y,hr}) \cdot l_h - F_{x,hl} \cdot b_{hl} + F_{x,hr} \cdot b_{hr} \quad \text{F1.3}$$

65

ohne Korrektur ablaufen muß. In dieser Zeit der freien Integration entfernt sich das integrierte Gierratensignal kontinuierlich vom tatsächlichen Gierratensignal, wenn die Kräfte und Hebelarme nicht exakt bekannt sind und/oder wenn externe Kräfte und/oder Momente auf das Fahrzeug wirken (z. B. durch Seitenwind). Um diese Drift gering zu halten, wird eine Korrektur des integrierten Signals im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich vorgesehen. Dazu werden unter Einbeziehung der Referenzgierratensignale die Korrekturfaktoren  $k = 1$  oder  $k = 0$  herangezogen.

#### Ausführungsbeispiel mit zwei Referenzgierraten und weiteren Signalen

Es wird ein Korrekturfaktor bestimmt, der nicht nur die Werte 0 oder 1, sondern auch beliebige Zwischenwerte annehmen kann. Das Verfahren für die Korrektur arbeitet wie folgt: Die Lenkwinkelreferenzgierrate nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

zeigt den Fahrerwunschkurs an, während die Querbeschleunigungsreferenzgierrate nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

die Reaktion des Fahrzeuges unter stabilen Fahrbedingungen wiedergibt und verzögert auf die Vorgabe reagiert (Massenträgheit des Fahrzeuges).

Die tatsächliche, z. B. mittels eines hochauflösenden Sensors gemessene Gierwinkelgeschwindigkeit oder Gierrate des Fahrzeuges eilt beim Übergang vom stabilen in den instabilen Fahrzustand, der Querbeschleunigungsreferenzgierrate voraus. Unter diesen Bedingungen ist die tatsächliche Gierrate größer als die Querbeschleunigungsreferenzgierrate. Gleichzeitig hat die tatsächliche Gierrate in den meisten Fällen noch nicht die Kursvorgabe des Fahrers erreicht, sonst hätte der Fahrer zurückgelenkt und den Gierratenaufbau beendet. Die tatsächliche Gierrate ist deshalb mit hoher Wahrscheinlichkeit innerhalb des Bandes  $|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$  zu finden, das von den beiden Referenzgierraten aufgespannt wird.

Befindet sich die integrierte Gierrate außerhalb dieses Bandes  $|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}|$ , so daß  $k_1 \geq |\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}|$  ist, wird in jedem Berechnungszyklus ein kleiner Korrekturschritt zur Bandgrenze

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

oder

$$\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

durchgeführt. Die Korrekturschrittweite ist abhängig vom Abstand der integrierten Gierrate zur Bandgrenze, von den aktuellen Drehmomenten, dem Reibwert sowie der Geschwindigkeit. Sie beträgt vorzugsweise einen variablen Bruchteil der Differenz der integrierten Gierrate zur berechneten Gierrate (Bandgrenze). Die Schrittweite ist klein, verglichen mit der vorliegenden Abweichung, um über den Mittelungseffekt vieler kleiner Einzelkorrekturen eine insgesamt genauere Korrektur zu erzielen.

Des weiteren kann der stabile Fahrbereich genutzt werden, um direkt auf eine Referenzgierrate ebenfalls in kleinen Schrittweiten in jedem Berechnungszyklus zu korrigieren. Dieser Fahrbereich wird erkannt über den Abstand der Referenzgierraten, über deren Gradienten, über die aktuellen Drehmomente, sowie über mittlere Momente. Zusätzlich werden Reibwert und Fahrzeuggeschwindigkeit verwendet. Alle diese Größen werden separat oder in Kombination verwendet, um die Korrekturschrittweiten festzulegen oder zu entscheiden, die Korrektur in diesem Berechnungszyklus nicht durchzuführen. Die Korrekturschrittweite ist auch beim zweiten Verfahren proportional dem Abstand integrierte Gierrate – Referenzgierrate.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Giermoments eines Fahrzeugs, das aus dem Vergleich einer Istgierwinkelgeschwindigkeit mit einer Sollgierwinkelgeschwindigkeit und ggf. weiteren Größen gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Istgierwinkelgeschwindigkeit unter Einbeziehung der am Reifen angreifenden Istkräfte und dem Lenkwinkel über eine Integration der Gierwinkelbeschleunigung geschätzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gierwinkelbeschleunigung nach der Beziehung

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} M_z$$

bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit über eine direkte Integration mit der Momentenbilanz nach der Beziehung

$$M_z = (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) \cdot l_v \cdot \cos\delta + (F_{x_{vr}} \cdot b_{vr} - F_{x_{vl}} \cdot b_{vl}) \cdot \cos\delta + \\ + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) \cdot l_v \cdot \sin\delta + (F_{y_{vl}} \cdot b_{vl} - F_{y_{vr}} \cdot b_{vr}) \cdot \sin\delta - \\ - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) \cdot l_h - F_{x_{hl}} \cdot b_{hl} + F_{x_{hr}} \cdot b_{hr}$$

5

durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die geschätzte Gierwinkelgeschwindigkeit unter Einbeziehung von bestimmten, geschätzten und oder errechneten Korrekturgrößen oder Korrekturwerten in Abhängigkeit vom Fahrverhalten des Fahrzeugs korrigiert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die geschätzte Gierwinkelgeschwindigkeit in Abhängigkeit von einem linearen oder nicht linearen Fahrverhalten des Fahrzeugs nach mindestens zwei unterschiedlichen Strategien korrigiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Korrekturgrößen oder Korrekturwerte Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten bestimmt, geschätzt oder berechnet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

20

des stationären Einspurmodells berechnet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

25

$$\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

berechnet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer ersten Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit auf eine Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

30

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

oder

40

$\dot{\psi}_{ref}$  aus  $\dot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$  oder

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

45

gesetzt bzw. durch die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit ersetzt wird, wenn die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

50

und

55

$$\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$  bestimmt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert  $k_1$  kleiner 5 Grad pro Sekunde ist, vorzugsweise im Bereich zwischen 2 und 3,5°/s liegt.

60

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer weiteren oder zusätzlichen Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit auf eine Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

65

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

oder

$\dot{\psi}_{ref}$  aus  $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$  oder

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

gesetzt bzw. durch die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit ersetzt wird, wenn die Differenz zwischen der am Fahrzeug gemessenen Istgröße, die ein Moment wiedergibt und dem anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Moment nach der Beziehung

$$M_{z,ref} = \Theta \cdot \ddot{\psi}_{ref}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|M_z - M_{z,ref}| < k_2$  bestimmt wird, und/oder wenn die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und

$$\dot{\psi}_{ref2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|\dot{\psi}_{ref1} - \dot{\psi}_{ref2}| < k_1$  bestimmt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert  $k_2 < 1000 \text{ Nm}$  ist, vorzugsweise im Bereich zwischen 200 und 500 Nm liegt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer weiteren oder zusätzlichen Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch linearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit auf eine Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach der Beziehung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

oder  $\dot{\psi}_{ref}$  aus  $\ddot{\psi}_{ref} = f(\delta, v_{ref}, \beta_{ref}, \dot{\psi}_{ref}, \mu)$  oder

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

gesetzt bzw. durch die Referenzgierwinkelgeschwindigkeit ersetzt wird, wenn die Differenz zwischen den am Fahrzeug gemessenen Istgrößen, die die Seitenkräfte  $F_y$  wiedergeben und den anhand eines dynamischen Einspurmodells berechneten Seitenkräften nach der Beziehung

$$F_{y,ref} = C \cdot \alpha_{ref} \text{ mit}$$

$$\alpha_{ref,v} = \beta_{ref} - \frac{l_v \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}} + \delta \quad \text{und} \quad \alpha_{ref,h} = \beta_{ref} + \frac{l_h \cdot \dot{\psi}_{ref}}{v_{ref}}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|F_y - F_{y,ref}| < k_3$  bestimmt wird und/oder wenn die Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten nach den Beziehungen

$$\dot{\psi}_{ref1} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und

$$\dot{\psi}_{ref_2} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

innerhalb eines Bandes liegen, das durch  $|\dot{\psi}_{ref_1} - \dot{\psi}_{ref_2}| < k_1$  bestimmt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellenwert  $k_3 < 500$  N ist, vorzugsweise in einem Bereich zwischen 100 und 300 N liegt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer zweiten Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit, insbesondere bei einem Fahrzeug, das sich im fahrdynamisch nichtlinearen Bereich befindet, die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit schrittweise in Richtung der Referenzgierwinkelgeschwindigkeit nach Gleichung

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

korrigiert wird, solange sie außerhalb eines Bandes liegt, das durch die beiden Referenzgiergeschwindigkeiten nach Gleichung

$$\dot{\psi}_{ref} = \delta \frac{v_{ref}}{l + EG v_{ref}^2} \quad \text{mit} \quad EG = \frac{m}{l} \left( \frac{l_h}{C_v} - \frac{l_v}{C_h} \right)$$

und

$$\dot{\psi}_{ref} = \frac{a_y}{v_{ref}}$$

bestimmt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer weiteren oder zusätzlichen Strategie zur Korrektur der integrierten Gierwinkelgeschwindigkeit die Korrektur auch während hochdynamischer Fahrzustände immer dann erfolgt, wenn die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit Werte angenommen hat, die außerhalb des physikalisch möglichen Bereichs liegen.

17. Verfahren zum Schätzen einer Gierwinkelgeschwindigkeit für eine Fahrzeugstabilitätsregelung, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit über eine Integration der Gierwinkelbeschleunigung durchgeführt wird und die integrierte Gierwinkelgeschwindigkeit mittels berechneter Referenzgierwinkelgeschwindigkeiten korrigiert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Gierwinkelbeschleunigung nach der Beziehung

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\Theta} M_z$$

bestimmt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit über eine direkte Integration der Momentenbilanz nach der Beziehung

$$M_z = (F_{y_{vl}} + F_{y_{vr}}) \cdot l_v \cdot \cos\delta + (F_{x_{vr}} \cdot b_{vr} - F_{x_{vl}} \cdot b_{vl}) \cdot \cos\delta + \\ + (F_{x_{vl}} + F_{x_{vr}}) \cdot l_v \cdot \sin\delta + (F_{y_{vl}} \cdot b_{vl} - F_{y_{vr}} \cdot b_{vr}) \cdot \sin\delta - \\ - (F_{y_{hl}} + F_{y_{hr}}) \cdot l_h - F_{x_{hl}} \cdot b_{hl} + F_{x_{hr}} \cdot b_{hr}$$

durchgeführt wird.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1

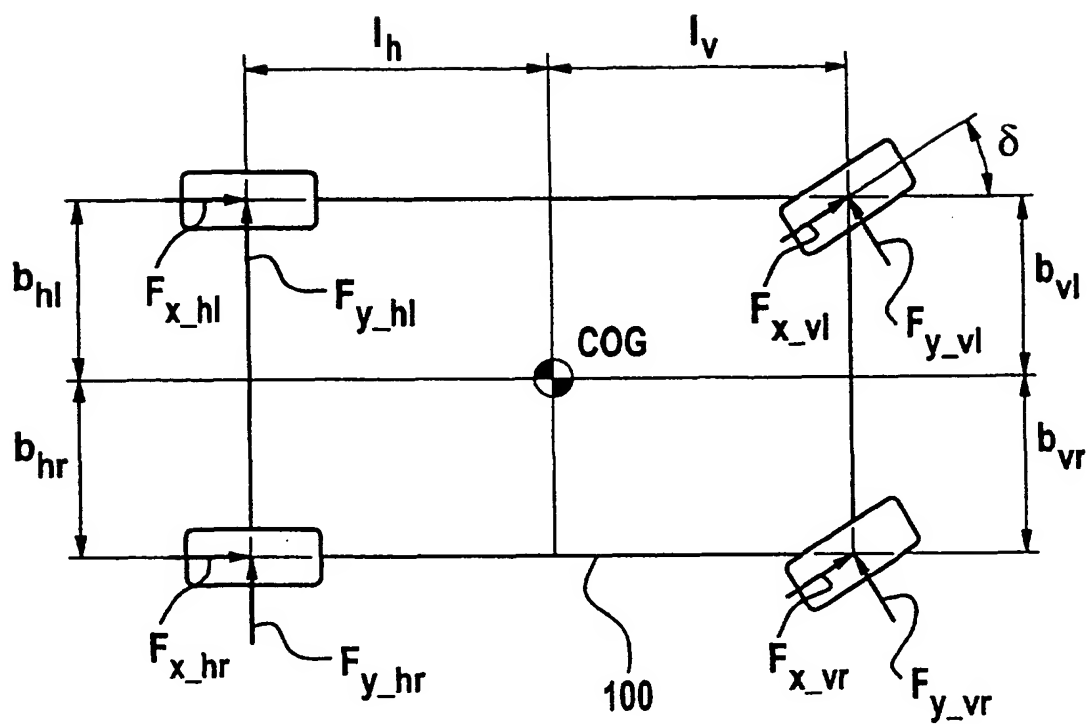


Fig. 2

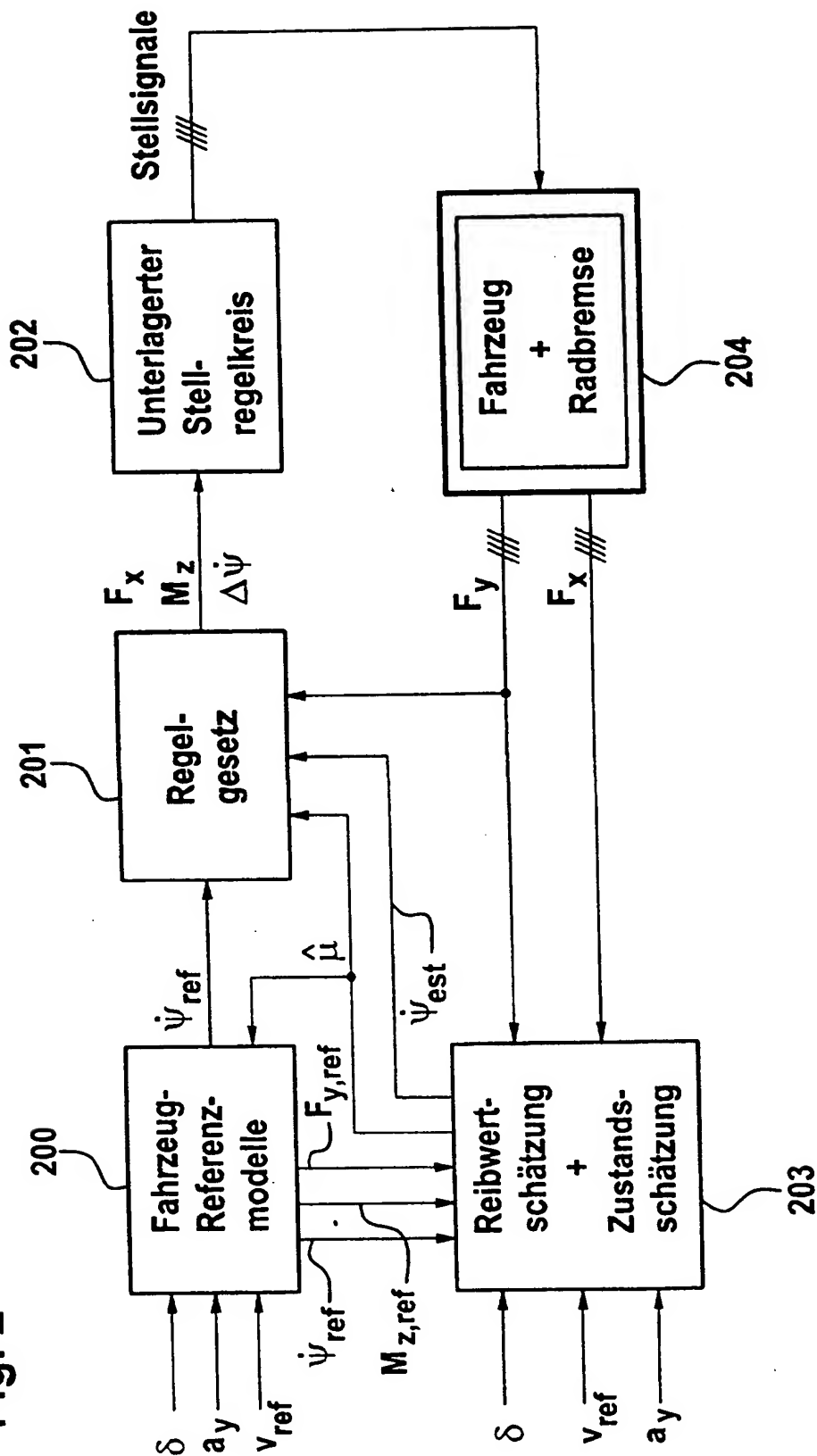


Fig. 3

